

# Anàlisi del comportament estructural i avaluació del dany del campanar de l'església de Vistabella (La Secuita) per al seu reforç

Roger Señís

Dr. Arquitecte i Consultor d'Estructures Arquitectòniques  
Professor/Investigador de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC - BarcelonaTech)  
[rsenis@coac.net](mailto:rsenis@coac.net)

#Rehabilitació #Patrimoni #Exercici professional

## 1. ANTECEDENTS

L'església del Sagrat Cor de Vistabella (La Secuita, Tarragonès), la qual data del 1923 (encàrrec del 1917), és obra de l'arquitecte Josep Maria Jujol i Gibert (1879-1949), com es documenta al Pla Director de l'any 2008 [1]. Fou encarregada i construïda pels veïns del mateix poble amb la finalitat que el nucli de Vistabella disposés d'església parroquial pròpia. L'església s'organitza en planta al voltant d'un quadrat de tretze metres de costat (Figura 1) i es caracteritza per dos arcs parabòlics a sardinell de maó que són la base estructural de l'edifici, els quals es creuen amb un angle de 60/120° a la nau central.

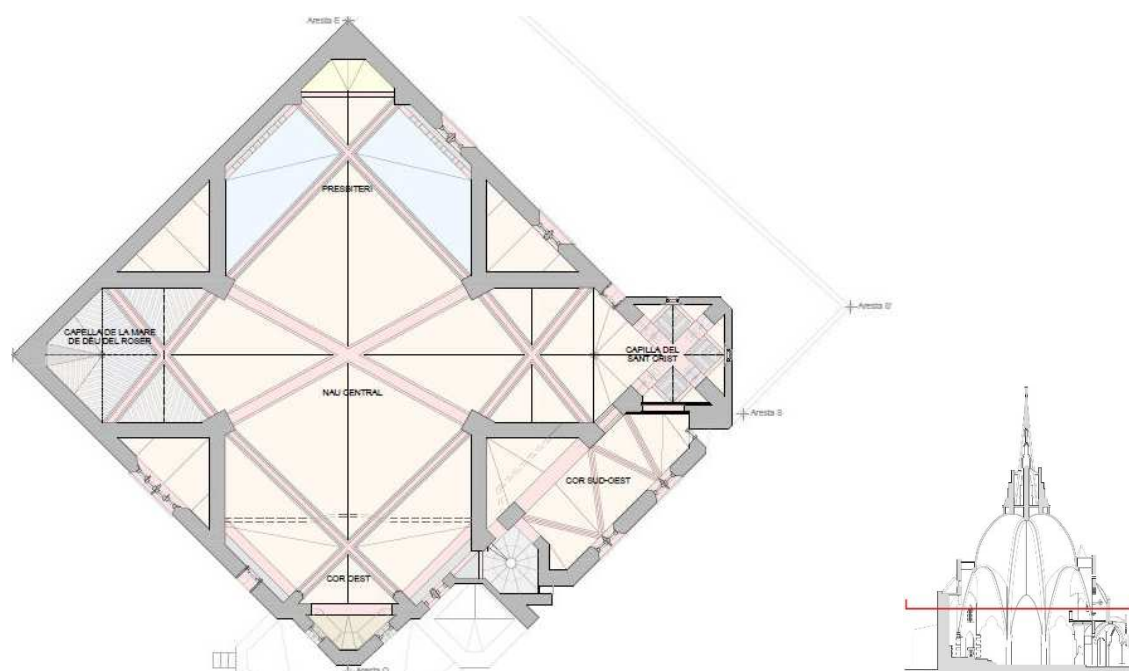


Figura 1. Disposició en planta dels arcs parabòlics a la nau central. (Imatge del Pla Director [1]).

De fet, la mateixa prolongació dels arcs parabòlics centrals esdevenen els elements resistents (costelles de fàbrica de maó) del sistema estructural del campanar, el qual en el seu coronament arriba quasi als 28 m d'alçada, conformant un element arquitectònic únic on l'estructura esdevé la pròpia finalitat de projecte (campanar). Aquesta inequívoca conjunció del disseny arquitectònic i concepció resistent d'acord a la funció resistent de la forma [2], dota al concepte arquitectònic d'una major integritat a través de l'existència d'un únic ordre compositiu-estructural [3,4].

Des del punt de vista resistent, les costelles principals (P1-P4) transmeten la major part de la càrrega del campanar als esmentats arcs. En els punts intermitjos (Figura 2), s'hi troben dues costelles secundàries (S1 i S2) de menor alçada que arriostren transversalment el campanar millorant el seu comportament estructural.

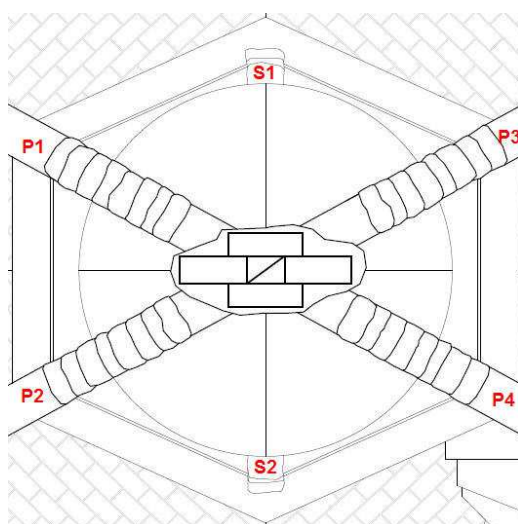


Figura 2. Disposició en planta de les sis costelles del campanar (P1-P4: costelles principals; S1 i S2: costelles secundàries). (Imatge pròpia).

D'acord a la disposició representada, el campanar resultant té a la base una geometria hexagonal d'uns 4 m d'amplada i es compon de quatre nivells (Figura 3): base campanar, zona campanes, base creu i coronació.

Atès a les característiques geomètriques exposades i les propietats mecàniques dels elements que conformen l'església, aquesta presenta patologies de forma generalitzada documentades al Pla Director [1], definint la magnitud i la rellevància de les patologies i fissures estructurals. Aquestes afecten d'una forma més acusada i determinant el campanar per ser l'element més esvelt i exposat (Figura 3), especialment a l'acció horitzontal del vent.

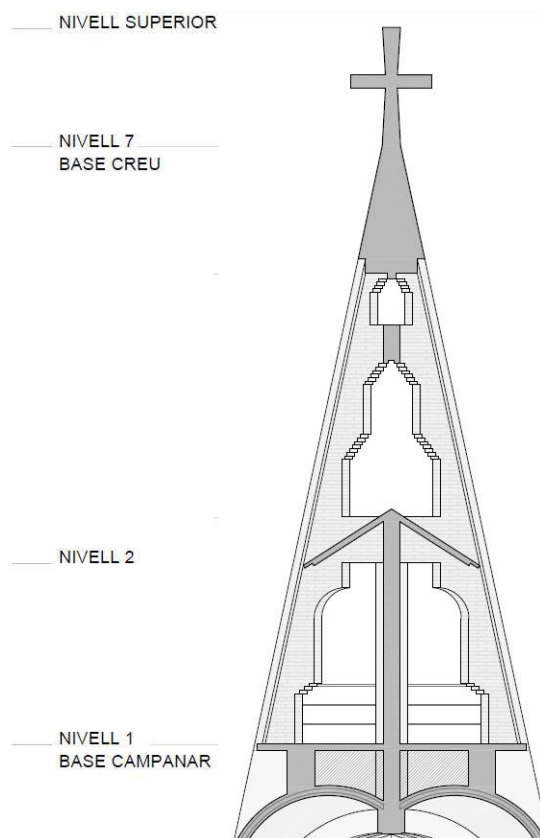


Figura 3. Vista i alçat del campanar de Vistabella. (Imatges pròpia i de Prats, *et al.* [5], respectivament).

Aquesta problemàtica ja va ser objecte d'estudi d'en Jujol l'any 1935, per la caiguda de l'agulla del campanar degut a un fort vent huracanat i per l'impacte d'un llamp. La reparació fou dirigida pel propi Jujol, incorporant als costats de les quatre costelles principals uns tirants de ferro encastats puntualment a l'obra de fàbrica i aplacats amb rajola.

Mencionar que els tirants existents no estan tesats (sistema passiu). Això implica que aquests no entren en càrrega fins que la fàbrica de maó està sol·licitada a esforços de tracció considerables, fet gens desitjable/convenient. En conseqüència, els tirants esdevenen poc efectius enfront a les accions horitzontals que sol·liciten l'estructura del campanar, i per això no es considera el seu efecte en l'avaluació del dany que es realitza.

A més, els aplacats de rajola segueixen caient, com s'observa a la Figura 4, quedant a la vista la base de morter que protegeix els tirants metàl·lics de reforç del campanar, tot i les successives intervencions realitzades en les darreres dècades (1992-1993; 2001), com recull el Pla Director [1].

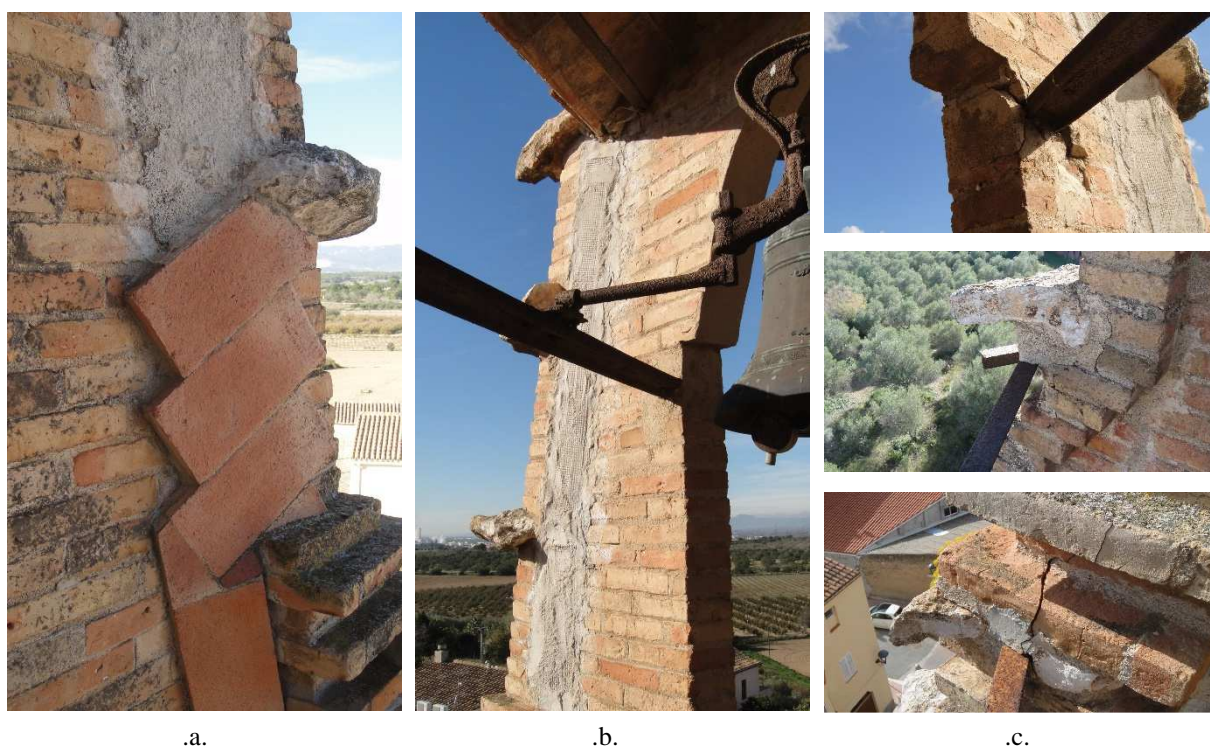


Figura 4. a) Aplacat dels tirants metàl·lics existents amb rajola i morter, b) c) Diferents elements metàl·lics existents al campanar. (Imatges pròpies).

Atès a l'estat actual del campanar, així com dels diferents elements estructurals que el conformen ja siguin de fàbrica de maó o metàl·lics (Figura 4), es requereix una nova intervenció amb la qual es pretén arranjar de forma definitiva les diferents patologies que poden afectar a la resistència i/o estabilitat, parcial o total, del campanar.

En aquest sentit, són constitutives de la modèstia dels sistemes constructius emprats i de l'arquitectura de l'edifici i que, evidentment, s'ha d'entendre com una construcció amb malalties cròniques. Per tant, la reparació d'aquestes patologies es fa amb criteris estrictes de restauració, de manera que la solució donada no alteri l'estat original i l'arquitectura de l'obra. En efecte, s'actua en les reparacions des d'aquesta consciència o voluntat d'invisibilitat que requereix un projecte d'aquestes característiques.



## 2. ANÀLISI DEL COMPORTAMENT ESTRUCTURAL I AVALUACIÓ DEL DANY DEL CAMPANAR ACTUAL

D'acord a l'exposat, en el moment d'avaluar estructuralment l'element arquitectònic singular i de certa complexitat formal que esdevé el campanar de Vistabella, el primer punt necessari ha estat disposar de les característiques geomètriques i mecàniques dels elements resistents que el conformen. Aquesta tasca inicial ha esdevingut força complicada tant per la seva naturalesa com per la seva història, essent necessari actuar amb rigor i un coneixement exhaustiu de la problemàtica a valorar, esdevenint una feina multidisciplinària essencial (recerca històrica, avaluació *in situ*, modelització i anàlisi estructural) [6-9]. En part, degut a la seva complexitat geomètrica, la utilització de diferents materials, la variabilitat de les seves propietats mecàniques, el seu assemblatge o procés constructiu (tècniques utilitzades), el desconeixement de l'estat actual i/o dels danys existents [8-11].

En base a aquesta recopilació de dades realitzada, s'analitza l'estructura completa del campanar actual, d'acord al plantejament acordat amb el tècnics redactors del projecte de restauració (Prats, *et al.* [5]), determinant el seu comportament resistent (accions sol·licitants) i, conseqüentment, l'avaluació del dany de la fàbrica de maó (estat tensional), especialment, enfront a les càrregues horitzontals (acció del vent). A la Figura 5, es mostra l'estat tensional actual de les costelles principals degut a l'acció del pes propi (PP) + vent ( $V_x$ ).

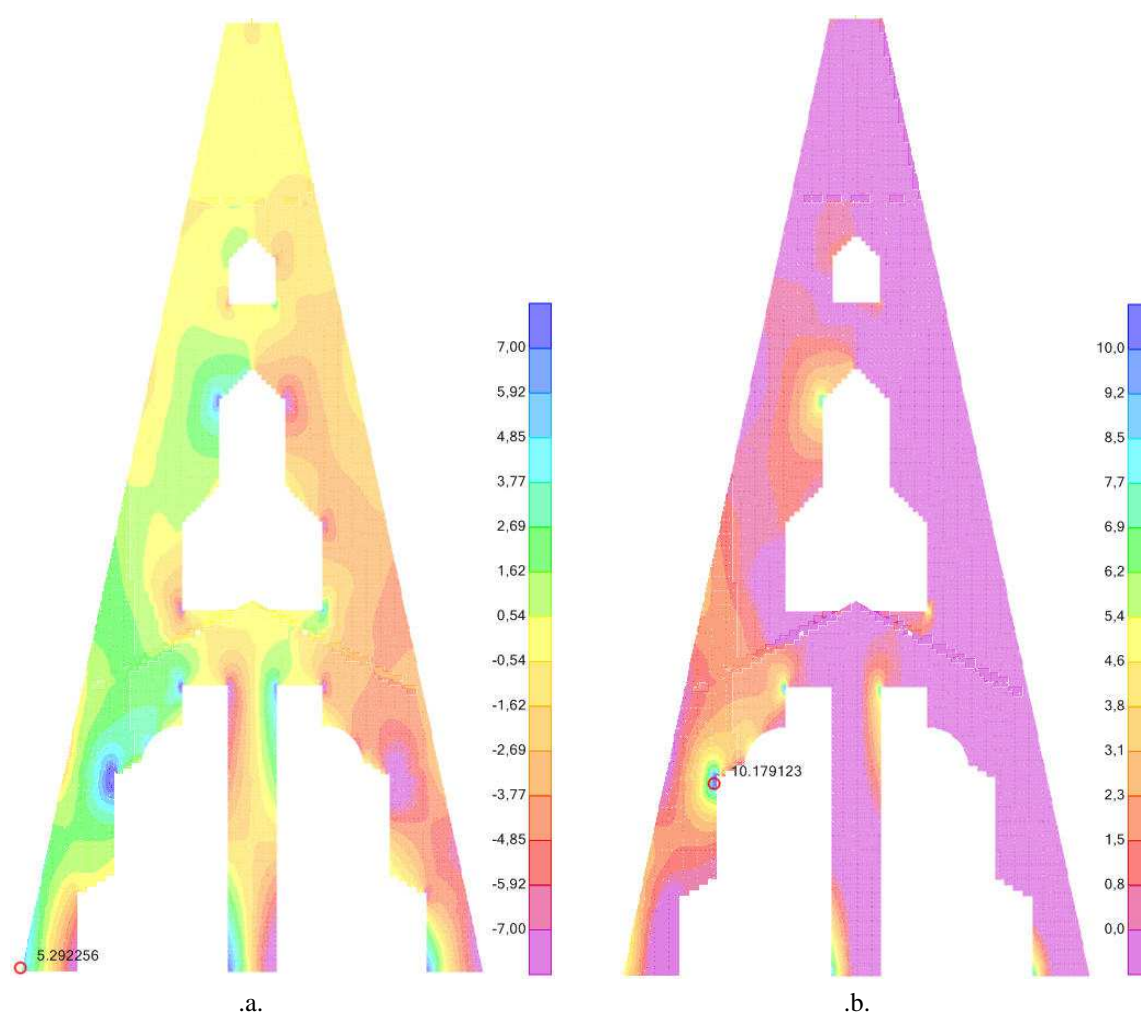


Figura 5. Estat tensional actual ( $\text{kg/cm}^2$ ) de les costelles (PP+ $V_x$ ): a) Tensions de tracció i compressió; b) Tensions de tracció. (Imatges pròpies [5]).

Com s'observa a la Figura 5, actualment la fàbrica de maó treballa a tensions de tracció destacables sota l'acció del vent, la qual és una situació gens desitjable. Puntualment, hi ha zones que poden arribar, considerant un comportament elàstic del material, a una tensió de tracció superior a  $10 \text{ kg/cm}^2$ . Aquesta casuística és la que ha produït, i segueix produint patologies considerables a l'estructura del campanar, que posen en risc la seva resistència i/o estabilitat, ja sigui parcial o total. En aquest sentit, és de suma rellevància realitzar el reforç estructural (sistema actiu) del campanar que es descriu a continuació.

### 3. DEFINICIÓ DEL POSTTESAT VERTICAL PER AL REFORÇ DEL CAMPANAR

Atenent als resultats obtinguts en l'anàlisi estructural del campanar existent, en aquest apartat es descriu el sistema de reforç que permeti arranjar de forma definitiva les diferents patologies que afecten a la resistència i/o estabilitat parcial del campanar.

Es defineix un sistema actiu de vuit tirants tesats de tres trams cadascú (posttesat vertical seqüencial) de  $\varnothing 16 \text{ mm}$  d'acer inoxidable, que es col·loquen dos a dos (1 per costat) a les costelles principals (Figura 6), des de la base del campanar fins a la base de la creu (Figura 3), substituint els tirants existents que no són efectius, com s'ha exposat anteriorment. És a dir, aquesta intervenció s'assimila conceptualment, en part, a la proposada pel Dr. arquitecte Robert Brufau a una xemeneia industrial al poble de Roda de Ter (projecte no executat). Un plantejament estructural que el propi Brufau exposa dient: "la intervenció consistiria a fer un cert posttesat vertical de tota la fàbrica, introduint-hi compressions axials a través d'un tensor [...]. Amb aquesta operació es volia reduir al màxim el risc que mai no es presentessin les indesitjades tensions de tracció a l'obra de fàbrica" [12].

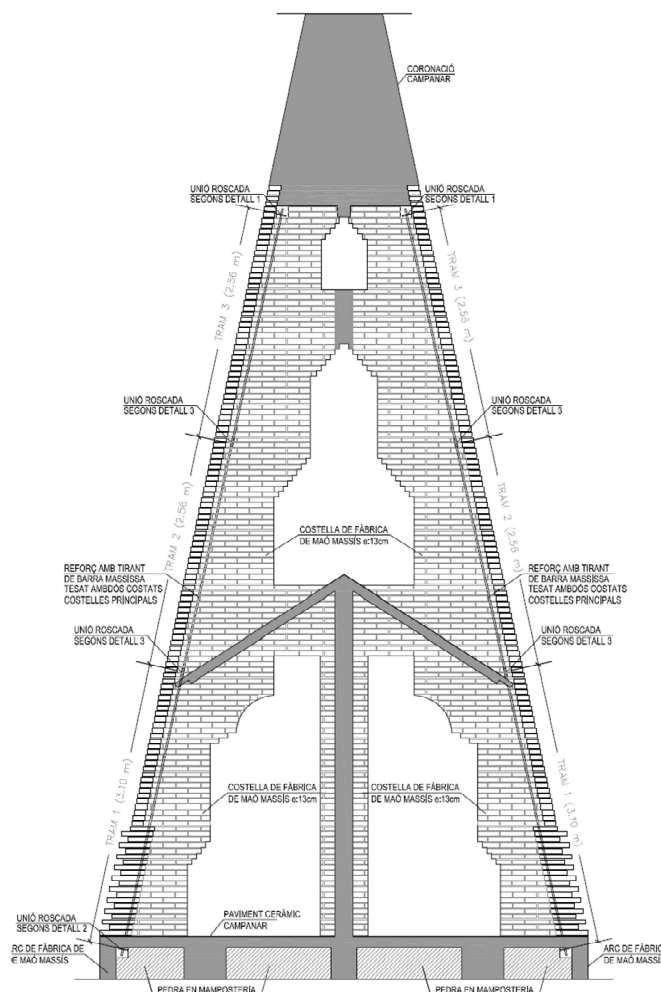


Figura 6. Definició del sistema de tirants per cada costella principal. (Imatge pròpia [5]).

A la Figura 7, es presenten els resultats del comportament resistent del campanar, d'acord a les diferents accions sol·licitants (PP,  $V_x$  i Tesat). Respectivament, es mostra l'estat tensional (pre-compressions) de les costelles principals segons l'acció del tesat, T, (Figura 7a), així com el comportament resultant (Figura 7bc), conjugat amb el pes propi i l'acció del vent ( $PP+V_x+T$ ).

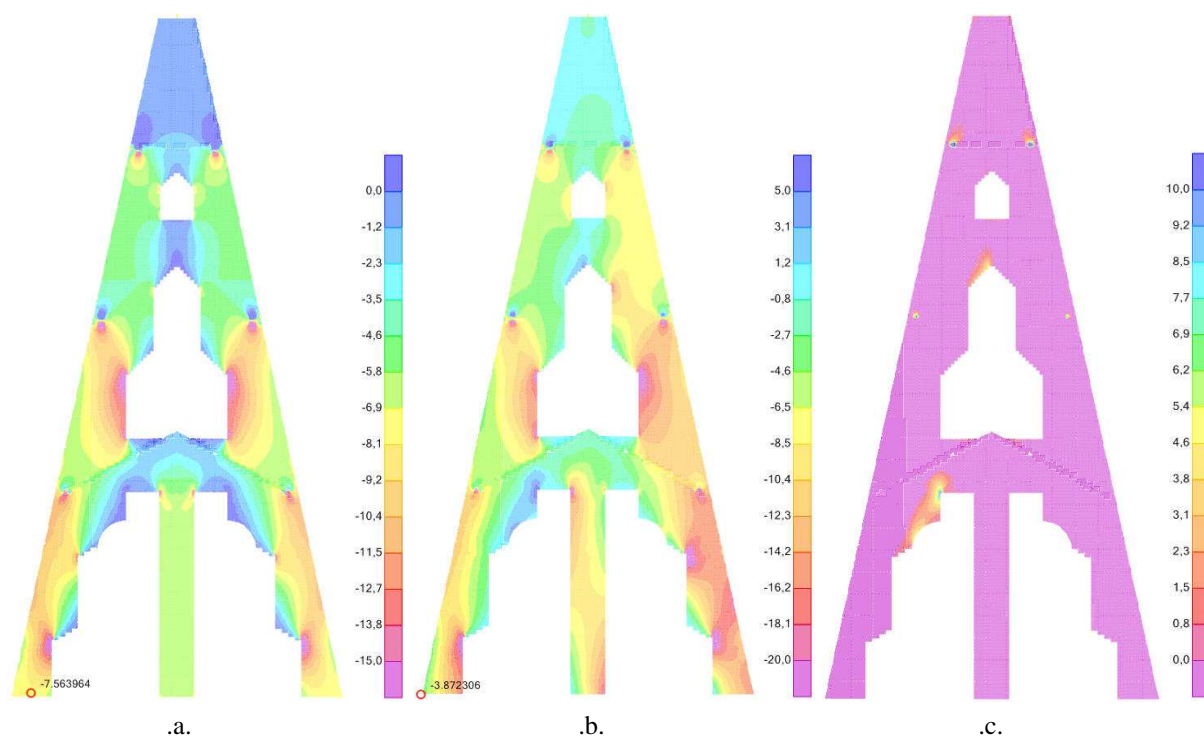


Figura 7. Estat tensional resultant ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ): a) Pre-compressions per l'efecte del tesat, T; b) Tensions de compressió i de tracció; c) Tensions de tracció ( $PP+V_x+T$ ). (Imatges pròpies [5]).

Com s'observa a la Figura 7, el comportament resistent resultant (estat tensional) de l'estructura del campanar millora de forma considerable, en relació al comportament actual (Figura 5), essent les traccions pràcticament inexistent (Figura 7c) per l'efecte del posttesat vertical seqüencial definit. Per assolir-ho, s'estableix una força de tesat per a cada tram de tirant, atenent a la influència del vent en cada direcció i l'efecte tèrmic en cada punt segons l'orientació solar.

#### 4. CONCLUSIONS

Per concloure, s'expressen les reflexions sorgides dels treball desenvolupat [5], i presentat, per al reforç i la restauració estructural d'aquesta obra del Patrimoni Cultural Català amb patologies cròniques:

- Es determina que el comportament resistent actual del campanar és inadequat i, és per això que, requereix d'un reforç estructural que millori dit comportament.
- Es realitza el reforç i la restauració estructural del campanar intervenint amb la màxima puresa, recuperant l'essència de la intervenció realitzada per en Jujol el 1935 (reforç amb tirants), sense la utilització d'elements superficials i/o superflus innecessaris que tapin i "embrutin" l'obra.
- Es proposa un sistema actiu de tirants (posttesat vertical seqüencial) que pre-comprimeix les costelles principals, equilibrant les traccions que actualment sol·liciten alguns punts d'aquestes.
- Es planteja un pla temporal de revisions i d'actuacions periòdiques, per a validar el comportament resistent un cop finalitzada l'actuació de reforç.

Finalment exposar que prendre consciència d'aquesta problemàtica és consubstancial a les solucions tècniques proposades i a la llarga permanència dels valors culturals d'aquesta extraordinària obra.

## AGRAÏMENTS

En primer lloc agrair als tècnics Santi Prats i Susana Pavón haver compartir tantes reflexions sobre conceptes arquitectònics i estructurals avançats, sorgides de les llargues, i productives, conversacions mantingudes. Així mateix, agrair a la resta de professionals per la seva disposició a treballar en equip, en tot moment, abordant la temàtica des de la vessant científic-tècnica que requereix, amb el màxim rigor, esforç i motivació, tant en la redacció del projecte [5] com en l'actual posada en obra.

## REFERÈNCIES

- [1] Llinàs, J., Miralles, R. (2008). *Pla Director per obres de reparació i restauració de l'església del Sagrat Cor de Vistabella*. Direcció General del Patrimoni Cultural, Barcelona.
- [2] Señís, R. (2014). *Optimización de mallas estructurales de acero envolventes de edificios en altura. Análisis de las direcciones principales identificadas por sus líneas isostáticas*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Id: <http://www.tdx.cat/handle/10803/146178>.
- [3] Señís, R. (2016). Criterios de diseño y análisis estructural del Centro de Atención y Gestión de Llamadas de Urgencia 112 Catalunya en Reus. *Informes de la Construcción*, 68(541): e139.
- [4] Bernabeu, A. (2007). *Estrategias de diseño estructural en la arquitectura contemporánea. El trabajo de Cecil Balmond*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- [5] Prats, S., et al. (2015). *Projecte de restauració de l'església del Sagrat Cor de Vistabella*. Barcelona.
- [6] ICOMOS/ISCARSAH Committee. (2003). *ICOMOS charter - principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. <[http://iscarsah.icomos.org/content/principles/ISCARSAH\\_Principles\\_English.pdf](http://iscarsah.icomos.org/content/principles/ISCARSAH_Principles_English.pdf)>.
- [7] ISO/TC98. (2010). *ISO/FDIS 13822 bases for design of structures - assessment of existing structures*. Genève: ISO.
- [8] Pérez-Gálvez, F., Rodríguez-Liñán, C., Rubio, P. (2009). Determinación de las características mecánicas de los muros de fábrica de ladrillo en la arquitectura doméstica sevillana de los siglos XVIII y XIX. *Informes de la Construcción*, 61(514): 19-28.
- [9] Roca, P., Cervera, M., Pelà, L., Clemente, R., Chiumenti, M. (2013). Continuum FE models for the analysis of Mallorca Cathedral. *Engineering Structures*, 46: 653-670.
- [10] Lombillo, I. (2010). *Investigación teórico - experimental sobre ensayos ligeramente destructivos (MDT) utilizados para la caracterización mecánica in situ de estructuras de fábrica del patrimonio construido*. Tesis Doctoral. Santander: Universidad de Cantabria.
- [11] Lombillo, I., Thomas, C., Villegas, L., Fernández-Álvarez, J.P., Norambuena-Contreras, J. (2013). Mechanical characterization of rubble stone masonry walls using non and minor destructive tests. *Construction Building Materials*, 43: 266-277.
- [12] Brufau, R. (2007). Construint fum. *Quaderns d'arquitectura i urbanisme*, 253: 74-77.